第 37 卷第 20 期
2017 年 10 月

生 态 学 报
ACTA ECOLOGICA SINICA

Vol.37,No.20
Oct.,2017

DOI: 10.5846/stxb201608011577

杨亮洁,杨永春.甘肃省资源环境承载力时空分异.生态学报,2017,37(20):7000-7017.

Yang L J,Yang Y C.The spatiotemporal variation in resource environmental carrying capacity in the Gansu Province of China.Acta Ecologica Sinica,2017,37(20):7000-7017.

甘肃省资源环境承载力时空分异

杨亮洁[1,2,*],杨永春[2]

1 西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070

2 兰州大学资源环境学院西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000

摘要:从经济、社会、环境和资源 4 个子系统中选取 24 个指标构建区域资源环境承载力评价体系,运用加权 TOPSIS 模型结合 GIS 的空间分析功能从时间和空间维度对甘肃省 14 个市州 2004—2013 年的综合承载力和 4 个子系统内部承载力水平进行剖析。研究表明:(1)近 10 年甘肃省各市州资源环境综合承载力指数呈低水平上的平稳态势,与经济发展水平一致;呈西北高东南低的空间格局和金字塔形的层次结构。嘉峪关市居第 1 层;金昌市、兰州市、酒泉市居第 2 层;其他市州居第 3 层;(2)各子系统对资源环境综合承载力的影响不同。生态环境子系统的承载力对资源环境综合承载力贡献最大,明显高于其他 3 系统,经济系统贡献很小;(3)各市州各子系统承载力指数存在明显的时空分异。经济支撑力指数呈河西(除武威外)和兰州高,东南和南部低的空间格局,呈现金字塔形的层次结构整体偏低变化较小。社会承载力指数除金昌市有较大的突变外各市区都比较平稳,空间上呈河西(除武威外)和兰州高,东南、南部低的空间格局;嘉峪关市、兰州、酒泉 3 市较高,其余各地都较低。环境承载力指数变动频繁,波动幅度不大,空间上基本呈两头高中间低的哑铃状空间格局。资源承载力指数偏低,武威、庆阳、定西、甘南、临夏和天水 6 市州指数曲线平稳,其余 8 市州波动频繁,波动幅度大,空间上呈河西地区(除武威外)和陇南市高,其余各州市低的集中分布格局。

关键词:资源环境承载力;评价指标;熵权 TOPSIS 模型;甘肃省; 时空分异

The spatiotemporal variation in resource environmental carrying capacity in the Gansu Province of China

YANG Liangjie[1,2,*],YANG Yongchun[2]

1 *College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou* 730070, *China*

2 *College of Resources and Environment, Lanzhou University, Key Laboratory of West Environment, Ministry of Education, Lanzhou* 730000, *China*

Abstract: Based on the evaluation index system established for measuring the resource environmental carrying capacity (RECC), this study measured the RECC of 14 cities in the Gansu Province of China and analyzed the spatiotemporal variation in RECC. To comprehensively understand RECC and accurately identify its trend, 24 indicators with four subsystems, i.e., economic, social, resource, and ecological subsystems, were selected to build the RECC evaluation system. The evaluation index weights were calculated using the entropy weight method, whereas the indicator weights were calculated using the entropy weight TOPSIS model. Furthermore, the spatiotemporal variation in RECC in 14 cities and the internal carrying capacity of the four subsystems, from 2004 to 2013, were analyzed using the GIS spatial analysis function. The results indicate that: (1) All 14 cities in the Gansu Province showed a low composite index of RECC, with no significant variation from 2004 to 2013, and showed a trend similar to that in economic development. The spatial pattern showed that the northwest district had a higher RECC than the southeast district. It showed a pyramidal hierarchy with three

基金项目:国家自然基金资助项目(41501176,41571155);西北师范大学青年教师科研能力提升计划资助项目(NWNU-LKQN-14-13)

收稿日期:2016-08-01; **网络出版日期**:2017-06-01

*通讯作者 Corresponding author.E-mail: yangljmnx@163.com

levels, i.e., Jiayuguan city at the top, Lanzhou, Jiuquan, and Jinchang cities in the middle part, and the other cities at the bottom. The first and second levels showed a significant difference, whereas the second and third levels showed an insignificant difference. (2) Considerable differences were observed among effects of the four subsystems. The ecological subsystem had the largest effect, significantly higher than the other three subsystems, followed by the social and resource subsystems, whereas the economic subsystem had the smallest effect. (3) A distinct spatiotemporal variation exists in the subsystems. The economic support index and social carrying capacity were higher in the Hexi (except Wuwei city) and Lanzhou regions than in the southeast and south regions. A pyramidal hierarchical structure was observed for the economic support index, with low values and insignificant differences between levels. The social carrying capacity of all cities was similar, except Jinchang city, which showed a large change in the social carrying capacity in 2009. Although the environmental carrying capacities changed frequently, the fluctuation was insignificant. The spatial pattern was dumbbell-shaped, i.e., low in the middle and high at the two ends. In general, the resource carrying capacity indices were low; they were constant in Wuwei, Qingyang, Dingxi, Gannan, Linxia, and Tianshui cities, and variable in the remaining eight cities. The Hexi (except Wuwei city) and Longnan regions showed higher resource carrying capacity indices than the other parts. The results indicate that industry structure should be modified to promote economic development and the resources and environment must be protected to realize sustainable development in the Gansu Province of China.

Key Words: resource environmental carrying capability; evaluation index; entropy weight TOPSIS model; Gansu Province; spatiotemporal variation

资源环境承载力既是一个区域性问题,也是一个全球性问题,作为衡量人地关系协调发展的重要判据,已成为衡量区域可持续发展的重要指标之一[1]。随着工业化和城镇化的发展,经济-资源-人口-环境等问题日益加剧,区域资源环境承载力备受关注[2-6]。

国外关于资源环境综合承载力研究缘起于20世纪60年代末70年代初[1]。美国麻省理工学院的D.梅多斯等[7]在《增长的界限》中利用系统动力学模型构建了著名"世界模型"。至此之后资源环境综合承载力成为生态环境研究的核心热点问题。Slesser[8]采用ECCO模型建立的系统动力学模型;Daily等[9]对人口与地球承载力的关系进行了一系列的研究;Saveriades[10]提出旅游承载力的概念,并应用到塞浦路斯东海岸的研究中;美国环保局进行了4个镇区的环境承载力以及4个湖泊的环境承载力研究[11]。

国内学者在学习借鉴国外研究的同时结合中国的实际情况进行大量的理论和实证研究。黎明[12]应用供需平衡模型对重庆市都市圈水资源承载力进行分析和预测;宋艳春[13]选取土地资源、水资源等7个单因素,应用状态空间法对鄱阳湖生态经济区资源环境承载力进行剖析;郭轲[14]采用状态空间模型和时间序列Tobit模型对京津冀地区资源环境承载力和动力机制进行分析;董文[15]分析了主体功能区划中资源环境承载力的评价指标体系;刘晓丽[1]对城市群资源环境承载力的研究进行评述;安翠娟[16]以广西北部湾经济区为例进行生态文明视角下资源环境承载力评价研究;周侃[17]运用GIS空间分析与模拟方法,结合统计资料与调查数据的综合分析研究中国欠发达地区资源环境承载力的特点与影响因素。研究表明欠发达地区资源环境承载力的演化呈现了演替速度快、预警期短、超载后修复难度大周期长的特点(图1)[17]。

综上所述,已有研究为进一步研究提供了借鉴,能够有效指导资源环境承载力评价指标的选择与体系的构建。但是,已有研究在分析方法上多采用多元统计分析方法[18-24],主要存在以下问题和不足[25]:第一,在权重的确定上无法避免主观因素的影响,如AHP法,导致权重大小欠客观,忽略了不同性质的指标在资源环境承载力评价体系中的地位;第二,不能反映资源环境现实承载力与理想值之间差距如何,如系统动力学模型;第三,部分研究方法对样本容量的要求较高,当样本容量较少时,往往不能完全体现评价对象间的差异,区分度不高,如全局主成分分析法。

多目标决策的TOPSIS法为解决上述问题提供了可行的方法。TOPSIS (Technique for Order Preference By

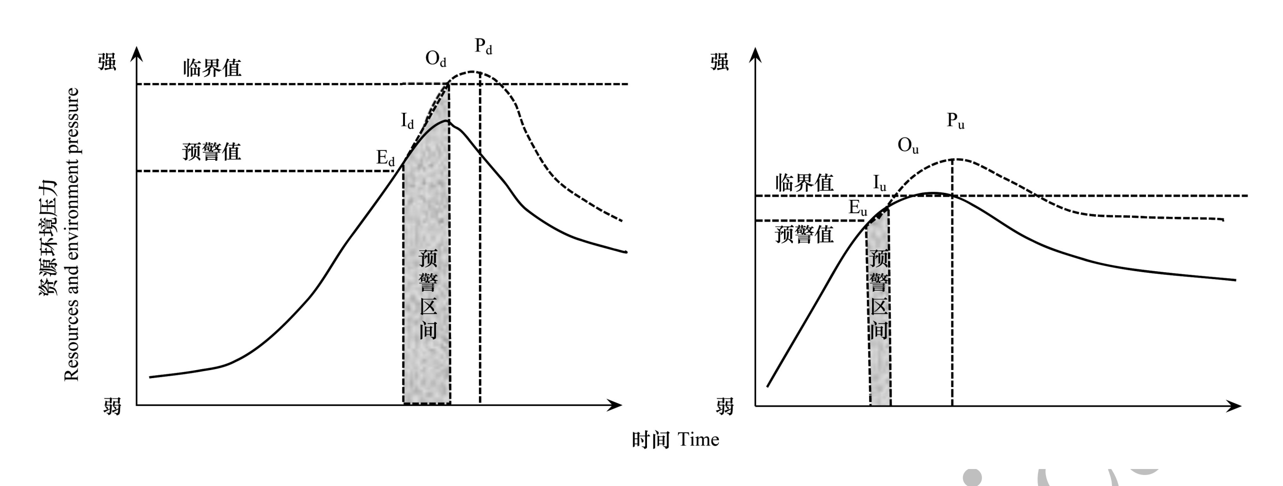


图 1 资源环境承载力的演化特征对比[17]

Fig.1 Comparison of evolution characteristics of resources and environment carrying capacity[17]

Similarity to Ideal Solution)是 Hwang 和 Yoon 于 1981 年提出的一种适用于根据多项指标、对多个方案进行比较选择的分析方法,该方法能够客观全面地反映测量目标的动态变化,测量目标靠近正理想解和远离负理想解的程度来评估资源环境承载力水平[26]。TOPSIS 法在指标多少、样本含量和数据分布等方面都没有严格的限制和要求[27-28],操作简单、真实可靠、表征直观[27,29]。TOPSIS 方法广泛应用在生态环境系统评价、资源环境承载力土地利用绩效评价等方面。学者们在实际研究中对 TOPSIS 方法进行改进[30-31]。周彬[32]采用改进 TOPSIS 模型对舟山群岛生态系统健康进行评价;洪惠坤[33]利用改进 TOPSIS 模型对三峡库区生态敏感区土地利用系统健康进行评价;胡林林[34]采用整合的 FAHP-TOPSIS 法对我国 30 个省区低碳发展水平;韩瑞玲[35]运用基于熵权的 TOPSIS 方法综合评价了辽宁省循环经济发展轨迹;郭永杰[36]综合运用熵值法、改进 TOPSIS 模型与障碍度模型对宁夏回族自治区县域绿色发展水平的空间分异及影响因素进行了实证研究;赵宏波[30,37]综合运用改进的 TOPSIS 模型、马尔可夫链模型、GIS 空间分析方法和障碍度模型对东北粮食主产区生态安全的时空格局以及农业生态系统健康格局与因子进行分析;雷勋平[25]基于熵权 TOPSIS 模型进行区域土地利用绩效评价及障碍因子诊断;李灿[38]基于熵权 TOPSIS 模型进行土地利用绩效及关联分析;雷勋平[27]运用熵权 TOPSIS 模型以安徽省为例对区域资源环境承载力评价进行实证研究。

与其他指标权重计算方法比较,熵权法基于评价指标原始信息求得权重,能够反映数据隐含的信息,增强指标的分辨意义和差异性,以避免因选用指标的差异过小造成的分析困难[25,38],客观性更强、精确度更高,能够较好地解释和表征各指标在评价指标体系中的地位和作用,提高最终评价结果的准确度和精度。用与最劣(最优)样本(方案)的差异的大小改进传统的距离计算方法,更能体现方案的优劣性。GIS 的空间分析功能能够直观呈现事物的时空演变特征。

21 世纪以来,各类国土空间规划需求拉动资源环境承载力评价研究,围绕欠发达地区的资源环境承载力研究不断涌现[17,39-46]。甘肃省是典型的欠发达且生态脆弱地区,资源环境承载力的演化呈现明显演替速度快、预警期短、超载后修复难度大周期长的特点。同时,甘肃省是西北乃至全国重要的生态安全屏障,保护其生态环境,提高资源环境承载力至关重要。

鉴于此,本文借鉴已有文献的分析框架、基本思想和研究方法,从经济、社会、资源、环境四个子系统构建资源环境承载力评价指标体系,采用熵权 TOPSIS 模型,用评价指标实际值与最优和最劣方案值的差差异改进传统的距离计算,结合 GIS 空间分析方法对甘肃省 12 地级市和 2 个自治州 2004—2013 资源环境承载力时空格局进行剖析,以期能直观呈现甘肃省资源环境承载力的时空演变趋势,为甘肃省可持续发展提供参考。

1 研究区概况与数据基础

1.1 研究区概况

甘肃省地处 32°31′—42°57′N,92°13′—108°46′E,地控黄河上游,处于黄土高原、青藏高原和内蒙古高原

三大高原的交汇地带。境内地形地貌复杂多样(图 2)。甘肃深居西北内陆,降雨量少,年平均降水 36.6—734.9 mm。植被覆盖度低,水资源相对短缺,属于典型的生态脆弱区。

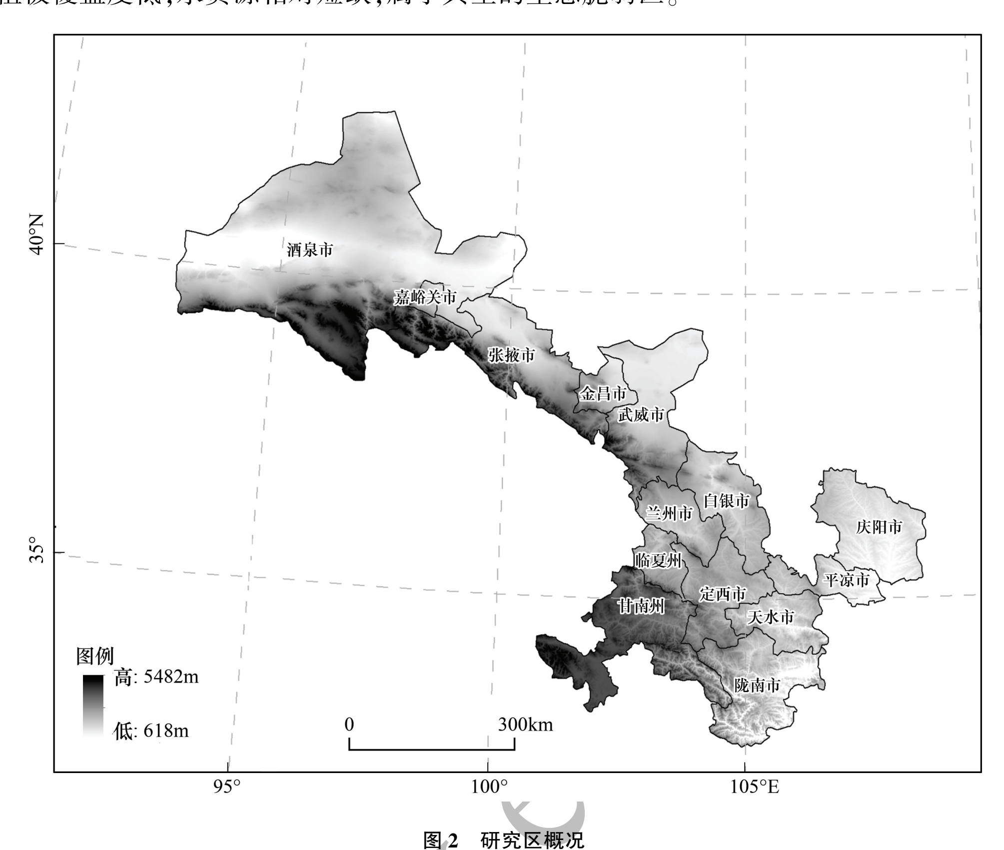


图 2　研究区概况

Fig.2　The generality of the study region

1.2　数据来源

本文共选 24 个指标,统计数据均来自 2004—2013 年各年份的甘肃年鉴、甘肃发展年鉴和发展公报等。

2　区域资源环境承载力评价指标体系构建

2.1　评价指标体系选取

影响区域资源环境承载力的因素很多,国内外学者关于区域资源环境承载力评价指标体系构建方面的研究从单一因素逐渐过渡到综合的多因素多目标的研究。近 10 年来国内学者在区域资源环境承载力评价指标方面考虑的因素主要集中在水土资源、经济、社会、生态等方面,2010 年以后,学者们一致认为“区域资源环境承载力”是一个复杂的概念[27],各大子系统系统相互作用,相互影响,要综合考虑载体和承载物[47]。本文根据已有研究成果,结合研究区域实际情况,应用 SPSS 的 Person 相关系数法对各指标进行相关性分析,从经济、资源、环境、社会子系统选取相关性大的指标构建资源环境综合承载力评价指标体系,通过计算选取了 24 个相关系数大于 0.5 的指标并用熵权法确定各个指标的权重(表 1,表 2)。各子系统既独立,又相互联系,共同反映区域资源环境承载力状况。资源系统提供人类生存和发展所必需的各种资源,资源承载力是环境承载力的基础[27];环境系统对废弃物的承载能力是有限的,构成资源环境承载力的约束条件[48]。资源环境子系统在支撑和约束社会经济子系统发展的同时,受到社会经济活动对其产生的压力。资源系统、环境系统的支撑能力,即资源、环境可供养的人口数量和能承受的社会经济总量等因素;资源系统、环境系统压力,即社会经济活动对资源、环境产生的污染与破坏[49-51]。

2.2　指标口径及价值取向的确定

所有指标口径均与国家统计局指定的一致,将所有指标分为 2 类(表 1):一是正指标,这类指标的数值与

评价结果成正相关,即指标数值越大,评价结果越好;二是逆指标,这类指标的数值与评价结果呈反相关,即指标数值越大,评价结果越差。

表 1 显示,各项指标正负相间。其中有 10 项负指标,14 项正指标,负指标原始数值越大,得分越低;正指标原始数值越大,得分越高。

表 1 资源环境承载力评价指标体系及指标价值取向

Table 1 Evaluation indexes of regional resources and environment carrying capacity

目标层 Target layer	一级指标 First-level index	二级指标 Second-level index	功效 Efficacy
资源环境承载力 (RECC) Resources and environment carrying capacity	经济系统(E) Economic subsystem	人均生产总值(万元)(E1)	正
		人均第二产业总值(万元)(E2)	正
		第二产业生产总值比重(‰)(E3)	正
		人均第三产业生产总值(万元)(E4)	正
		第三产业生产总值比重(‰)(E5)	正
		城镇居民人均可支配收入(元)(E6)	正
		农民人均纯收入(元)(E7)	正
	社会系统(S) Social subsystem	人口密度(人/km^2(S1)	负
		人口自然增长率(‰)(S2)	负
		非农人口比重(%)(S3)	正
	环境系统(H) Environmental subsystem	万元工业增加值工业固体废物总量(t/万元)(H1)	负
		万元工业增加值工业废水排放量(t/万元)(H2)	负
		人均城镇生活污水年排放量(t)(H3)	负
		万元工业增加值氨氮排放量(t/万元)(H4)	负
		万元工业增加值二氧化硫排放量(t/万元)(H5)	负
		万元工业增加值工业废气排放量(万 m^3/万元)(H6)	负
		人均城市生活垃圾年清运量(t)(H7)	负
		万元工业增加值工业固体废物综合利用量(t/万元)(H8)	正
		化肥使用折纯率(t/hm^2)(H9)	负
	资源系统(R) Resource subsystem	人均耕地面积(hm^2)(R1)	正
		人均日生活用水量(m^3)(R2)	正
		人均全年总供水量(m^3)(R3)	正
		人均建成区面积(m^2)(R4)	正
		牛羊出栏数(万头)(R5)	正

3 区域资源环境承载力评价模型构建

3.1 TOPSIS 模型

TOPSIS 模型为"逼近理想解排序"方法,主要用来解决有限方案多目标决策问题,是一种运用距离作为评价标准的综合评价法[38]。通过定义目标空间中的某一测度,据此计算目标靠近/偏离正、负理想解的程度,可以评估区域资源环境承载力,且能够全面客观地反映区域资源环境承载力的动态及变化趋势。

3.2 熵权法

熵在多目标决策与评价中是一个非常理想的尺度。由指标原始数据确定权重,能有效兼顾指标的变异程度,客观反映其重要性。熵权计算公式为:

$$P_{ij} = V_{ij} / \sum_{i=1}^{n} V_{ij}$$

$$V_{ij} = \frac{y_{ij} - \min | y_{ij} |}{\max | y_{ij} | - \min | y_{ij} |}$$

$$E_i = -k\sum_{i=0}^{n} P_{ij} \times \ln P_{ij} \qquad 其中, k = 1/\ln n$$

$$w_j = (1 - E_i)/\sum_{j=1}^{m}(1 - E_i)$$

式中,y_{ij}表示 m 项评价指标 n 个年份的资源环境承载力评价决策矩阵,即第 i 项评价指标下第 j 年数据,$i=1,2,\cdots,m$;$j=1,2,\cdots,n$;m 为评价指标,n 为评价年份数;V_{ij}为原指标数据矩阵的标准化数据矩阵(采用极值法);E_i为第 i 项指标的熵,并假定当 $P_{ij}=0$ 时,$P_{ij}\cdot\ln P_{ij}=0$;P_{ij}为第 i 项指标第 j 年的标准化值在整个评价年份序列中的比重;k 为玻尔兹曼常量;w_i为第 i 项指标的权重值,且满足 $0\leq w_j\leq 1$ 和 $\Sigma w_j=1$。

3.3 改进的熵权 TOPSIS 模型

区域的资源环境承载力是由多个子系统共同作用决定的,其评价体系是一个复杂的多目标多指标的评价系统,各指标对承载力的影响不同。用多目标决策的 TOPSIS 法能够客观全面地反映资源环境承载力的动态变化。与传统的 TOPSIS 法相比,改进的 TOPSIS 法主要针对权重的计算和评价对象与正理想解和负理想解的评价公式进行了改进。

3.3.1 标准化评价矩阵构建

由于指标的多样性与复杂性,以及数据之间的差异性,导致各数据间的离散程度很大,需对数据进行无量纲化处理,消除各指标间量纲的影响。

正指标的标准化:

$$V_{ij} = \frac{y_{ij} - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}} \quad i = 1,2,\cdots,n;j = 1,2,\cdots,m$$

逆(负)指标的标准化:

$V_{ij} = \dfrac{y_{ij} - y_{\max}}{y_{\min} - y_{\max}} \quad i = 1,2,\cdots,n;j = 1,2,\cdots,m$ 式中,$y_{\max}$,$y_{\min}$ 分别为指标的最大值和最小值,V_{ij} 为标准化后的指标,V_{ij} 越大越好。

标准化数据归一化处理:
$$A = \frac{V_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} V_{ij}^2}} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

3.3.2 确定正负理想解

设 A^+为评价数据中第 i 个指标在 j 年内的最大值,即最偏好的方案,称为正理想解;A^-为评价数据中第 i 个指标在 j 年内的最小值,即最不偏好的方案,称为负理想解,计算公式如下:

最优方案 $A^+ = \{\max a_{ij} \mid i = 1,2,\cdots,m\} = \{a_{i1}^+, a_{i2}^+,\cdots,a_{im}^+\}$

最劣方案 $A^- = \{\min a_{ij} \mid i = 1,2,\cdots,m\} = \{a_{i1}^-, a_{i2}^-,\cdots,a_{im}^-\}$

3.3.3 计算距离

计算各个评价对象所有各指标值与最优方案及最劣方案的距离 D^+,D^-

$$D_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^{m}(a_{ij}^+ - a_{ij})^2} \qquad D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^{m}(a_{ij}^- - a_{ij})^2}$$

3.3.4 权重计算

用上文 4.2 中的熵权法计算各指标的权重,并对距离 D^+,D^-进行加权计算:

$$D_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} w_i(a_{ij}^+ - a_{ij})^2} \qquad D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} w_i(a_{ij}^- - a_{ij})^2}$$

3.3.5 计算评价对象与理想解的贴近度

计算各评价对象与最优方案的接近程度(区域资源环境承载力指数) C_j:

$$C_j = \frac{D_j^-}{D_j^+ + D_j^-}$$

C_j越大,表明该年资源环境承载力越接近承载力最优水平。当 $C_j = 1$ 时,资源环境承载力最高;当 $C_j = 0$ 时,资源环境承载力最低。本文以贴近度表示资源环境承载力大小,根据每年的贴近度大小可以判断资源环境承载力的高低,判断优劣。

4 甘肃省资源环境承载力分析

4.1 权重计算

通过熵权法计算得到各层次、各指标的权重。为便于分析比较,制定统一的标准,对权重均值化处理,取10年各指标权重的平均值作为最终计算各评价指标的权重(表2)。

表2 各指标最终权重

Table 2 The weight of evaluation indexes

指标 Index	E	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7		
权重 Weight	0.375	0.074	0.096	0.040	0.061	0.022	0.025	0.057		
指标 Index	S	S1	S2	S3						
权重 Weight	0.159	0.037	0.038	0.084						
指标 Index	H	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9
权重 Weight	0.208	0.015	0.017	0.013	0.035	0.018	0.019	0.020	0.063	0.018
指标 Index	R	R1	R2	R3	R4	R5				
权重 Weight	0.238	0.016	0.033	0.124	0.032	0.033				

4.2 基于加权 TOPSIS 模型的甘肃省资源环境承载力分析

将2004—2013年甘肃省14个市州的原始数据表在统计软件 MIMITAB 中应用上文的加权 TOPSIS 模型进行运算得到甘肃省14个市州2004—2013年综合资源环境承载力和各子系统承载力的具体评价指数值(表3、表4)。分析整个系统各个时间上的资源环境承载力总体趋势(表5)。利用 ArcGIS 软件绘制资源环境承载力时空分布图,进行空间格局演变分析。

表3 甘肃省2004—2013年资源环境综合承载力动态评价结果表

Table 3 The dynamic evaluation results of the synthetic carrying capacities in 2004—2013

地区 Region	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	平均值 Average
兰州市	0.354	0.289	0.286	0.299	0.296	0.333	0.292	0.325	0.296	0.313	0.308
嘉峪关市	0.650	0.646	0.676	0.661	0.653	0.733	0.605	0.686	0.685	0.679	0.667
金昌市	0.361	0.304	0.349	0.358	0.308	0.452	0.433	0.301	0.373	0.395	0.363
白银市	0.170	0.149	0.180	0.201	0.189	0.212	0.213	0.185	0.194	0.181	0.187
天水市	0.170	0.156	0.147	0.158	0.153	0.179	0.156	0.176	0.163	0.179	0.164
武威市	0.190	0.172	0.169	0.175	0.168	0.169	0.176	0.180	0.173	0.177	0.175
张掖市	0.229	0.200	0.187	0.200	0.184	0.222	0.189	0.232	0.276	0.298	0.222
平凉市	0.157	0.130	0.126	0.133	0.131	0.217	0.140	0.119	0.112	0.114	0.138
酒泉市	0.324	0.267	0.264	0.264	0.273	0.329	0.318	0.316	0.308	0.336	0.3
庆阳市	0.205	0.202	0.209	0.205	0.194	0.223	0.207	0.202	0.189	0.196	0.203
定西市	0.166	0.131	0.131	0.139	0.130	0.159	0.155	0.155	0.151	0.148	0.147
陇南市	0.260	0.282	0.285	0.286	0.294	0.157	0.302	0.268	0.222	0.182	0.254
临夏州	0.184	0.170	0.169	0.174	0.164	0.137	0.165	0.129	0.141	0.149	0.158
甘南州	0.197	0.173	0.161	0.175	0.176	0.220	0.192	0.192	0.193	0.211	0.189

表 4　甘肃省 2004—2013 年资源环境承载力各子系统动态评价结果表

Table 4　The dynamic evaluation results of the subsystems carrying capacities in 2004—2013

地区 Region	E:经济系统支撑力指数 The economic carrying capacities										
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	平均值 Average
兰州市	0.447	0.357	0.325	0.344	0.329	0.294	0.315	0.314	0.313	0.354	0.339
嘉峪关市	0.681	0.743	0.903	0.847	0.857	0.871	0.863	0.855	0.853	0.848	0.832
金昌市	0.463	0.390	0.487	0.551	0.408	0.372	0.380	0.327	0.302	0.359	0.404
白银市	0.109	0.106	0.112	0.119	0.115	0.115	0.115	0.108	0.106	0.109	0.111
天水市	0.134	0.098	0.034	0.100	0.096	0.079	0.078	0.074	0.075	0.079	0.085
武威市	0.088	0.078	0.068	0.095	0.090	0.066	0.071	0.066	0.065	0.075	0.076
张掖市	0.172	0.053	0.139	0.129	0.117	0.119	0.122	0.116	0.113	0.126	0.121
平凉市	0.082	0.064	0.048	0.066	0.058	0.056	0.057	0.053	0.049	0.053	0.059
酒泉市	0.300	0.155	0.269	0.270	0.268	0.313	0.343	0.316	0.317	0.388	0.294
庆阳市	0.067	0.115	0.128	0.097	0.102	0.109	0.109	0.115	0.108	0.134	0.108
定西市	0.060	0.070	0.022	0.072	0.076	0.091	0.085	0.084	0.078	0.080	0.072
陇南市	0.076	0.062	0.036	0.057	0.093	0.102	0.089	0.083	0.085	0.085	0.077
临夏州	0.057	0.088	0.011	0.098	0.102	0.100	0.103	0.107	0.111	0.138	0.092
甘南州	0.099	0.113	0.005	0.111	0.099	0.125	0.135	0.130	0.127	0.125	0.107

地区 Region	S:社会系统承载力指数 The social carrying capacities										
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	平均值 Average
兰州市	0.486	0.499	0.513	0.540	0.546	0.538	0.447	0.398	0.325	0.292	0.458
嘉峪关市	0.762	0.719	0.724	0.749	0.803	0.790	0.799	0.803	0.653	0.632	0.743
金昌市	0.345	0.339	0.375	0.361	0.359	0.370	0.424	0.397	0.890	0.825	0.469
白银市	0.158	0.155	0.154	0.156	0.155	0.164	0.225	0.213	0.213	0.197	0.179
天水市	0.069	0.065	0.062	0.060	0.058	0.078	0.077	0.064	0.049	0.044	0.063
武威市	0.222	0.211	0.194	0.194	0.187	0.199	0.261	0.251	0.259	0.240	0.222
张掖市	0.327	0.333	0.313	0.311	0.300	0.297	0.306	0.292	0.298	0.279	0.306
平凉市	0.169	0.159	0.123	0.131	0.108	0.074	0.126	0.113	0.111	0.093	0.121
酒泉市	0.364	0.364	0.360	0.363	0.361	0.366	0.375	0.361	0.368	0.388	0.367
庆阳市	0.120	0.121	0.126	0.127	0.127	0.131	0.153	0.148	0.154	0.151	0.136
定西市	0.137	0.129	0.129	0.123	0.110	0.128	0.180	0.168	0.171	0.148	0.142
陇南市	0.175	0.172	0.203	0.169	0.165	0.182	0.162	0.152	0.158	0.151	0.169
临夏州	0.001	0.001	0.003	0.003	0.004	0.015	0.009	0.010	0.009	0.011	0.007
甘南州	0.250	0.249	0.251	0.252	0.253	0.256	0.251	0.243	0.252	0.247	0.25

地区 Region	H:生态环境系统承载力指数 The environment carrying capacities										
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	平均值 Average
兰州市	0.435	0.400	0.393	0.383	0.383	0.406	0.396	0.460	0.393	0.427	0.408
嘉峪关市	0.334	0.339	0.366	0.332	0.336	0.338	0.331	0.528	0.428	0.440	0.377
金昌市	0.306	0.238	0.258	0.293	0.255	0.235	0.226	0.298	0.537	0.522	0.317
白银市	0.422	0.353	0.352	0.393	0.348	0.341	0.351	0.359	0.336	0.385	0.364
天水市	0.562	0.600	0.568	0.559	0.549	0.642	0.565	0.656	0.577	0.685	0.596
武威市	0.451	0.438	0.429	0.420	0.430	0.392	0.403	0.465	0.395	0.437	0.426
张掖市	0.326	0.292	0.235	0.336	0.351	0.341	0.303	0.362	0.256	0.307	0.311
平凉市	0.444	0.346	0.344	0.368	0.394	0.485	0.451	0.347	0.306	0.318	0.38
酒泉市	0.228	0.504	0.452	0.447	0.468	0.528	0.493	0.558	0.425	0.484	0.459
庆阳市	0.717	0.723	0.718	0.703	0.696	0.776	0.695	0.630	0.507	0.533	0.67
定西市	0.529	0.392	0.402	0.417	0.392	0.486	0.451	0.447	0.410	0.427	0.435
陇南市	0.439	0.316	0.391	0.399	0.357	0.459	0.372	0.418	0.407	0.434	0.399
临夏州	0.679	0.593	0.581	0.564	0.556	0.437	0.534	0.396	0.453	0.460	0.525
甘南州	0.621	0.510	0.492	0.498	0.532	0.670	0.548	0.546	0.548	0.640	0.561

续表

地区 Region	R:资源供给支持力指数 The resource carrying capacities										
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	平均值 Average
兰州市	0.068	0.046	0.081	0.082	0.111	0.253	0.154	0.287	0.234	0.243	0.156
嘉峪关市	0.643	0.604	0.612	0.599	0.571	0.688	0.409	0.579	0.618	0.622	0.595
金昌市	0.240	0.177	0.215	0.136	0.193	0.629	0.495	0.217	0.176	0.200	0.268
白银市	0.145	0.125	0.194	0.217	0.210	0.289	0.247	0.196	0.222	0.176	0.202
天水市	0.045	0.038	0.044	0.060	0.061	0.077	0.060	0.085	0.078	0.075	0.062
武威市	0.156	0.135	0.138	0.145	0.130	0.163	0.133	0.136	0.136	0.134	0.141
张掖市	0.210	0.162	0.162	0.173	0.142	0.259	0.164	0.277	0.368	0.390	0.231
平凉市	0.109	0.104	0.109	0.109	0.106	0.297	0.094	0.094	0.088	0.095	0.121
酒泉市	0.343	0.174	0.183	0.184	0.209	0.276	0.227	0.238	0.242	0.231	0.231
庆阳市	0.155	0.125	0.123	0.132	0.095	0.124	0.111	0.114	0.108	0.108	0.12
定西市	0.115	0.096	0.097	0.097	0.092	0.117	0.097	0.099	0.088	0.088	0.099
陇南市	0.335	0.377	0.369	0.367	0.387	0.045	0.412	0.364	0.285	0.191	0.313
临夏州	0.097	0.086	0.089	0.087	0.039	0.057	0.041	0.044	0.043	0.042	0.063
甘南州	0.078	0.063	0.061	0.062	0.076	0.099	0.076	0.080	0.080	0.084	0.076

4.2.1 系统承载力整体分析

通过对甘肃省综合资源环境承载力状态评价结果的图表的仔细分析(图 3,图 4,表 3,表 5),得出以下主要结论:

(1)甘肃省各市州资源环境综合承载力与经济发展水平一致,呈西北高东南低的空间格局,等级位序呈金字塔形。

由表 3、图 3 和图 4 可知,近 10 年来甘肃省资源环境综合承载力整体偏低,各市州综合承载力差异较大,综合承载力指数排序相对稳定。2013 年综合承载力指数最高的嘉峪关市为 0.679,是最低的平凉市(0.114)的近 6 倍,是排名第二的金昌市(0.395)的 1.7 倍。资源环境综合承载力空间布局上呈现出西北高、东南低的格局;等级位序呈金字塔状分布,大体分 3 个层次:嘉峪关市位居第一层,金昌市、兰州市、酒泉市位居第二层,第三层则张掖市、陇南市、庆阳市、甘南藏族自治州、白银市、武威市、天水市、临夏回族自治州、定西市、平凉市。与各市州的经济发展格局一致。

表 5 甘肃省 2004—2013 年资源环境承载力动态比较表

Table 5 The dynamic evaluation results of carrying capacities in 2004—2013

时间 Time	经济系统支撑力指数平均值	社会系统承载力指数平均值	生态环境系统承载力指数平均值	资源供给支持力指数平均值	资源环境综合承载力指数平均值
2004	0.203	0.256	0.464	0.196	0.258
2005	0.178	0.251	0.432	0.165	0.234
2006	0.185	0.252	0.427	0.177	0.239
2007	0.211	0.253	0.437	0.175	0.245
2008	0.201	0.253	0.432	0.173	0.237
2009	0.201	0.256	0.467	0.241	0.267
2010	0.205	0.271	0.437	0.194	0.253
2011	0.196	0.258	0.462	0.201	0.248
2012	0.193	0.279	0.427	0.198	0.248
2013	0.211	0.264	0.464	0.191	0.254

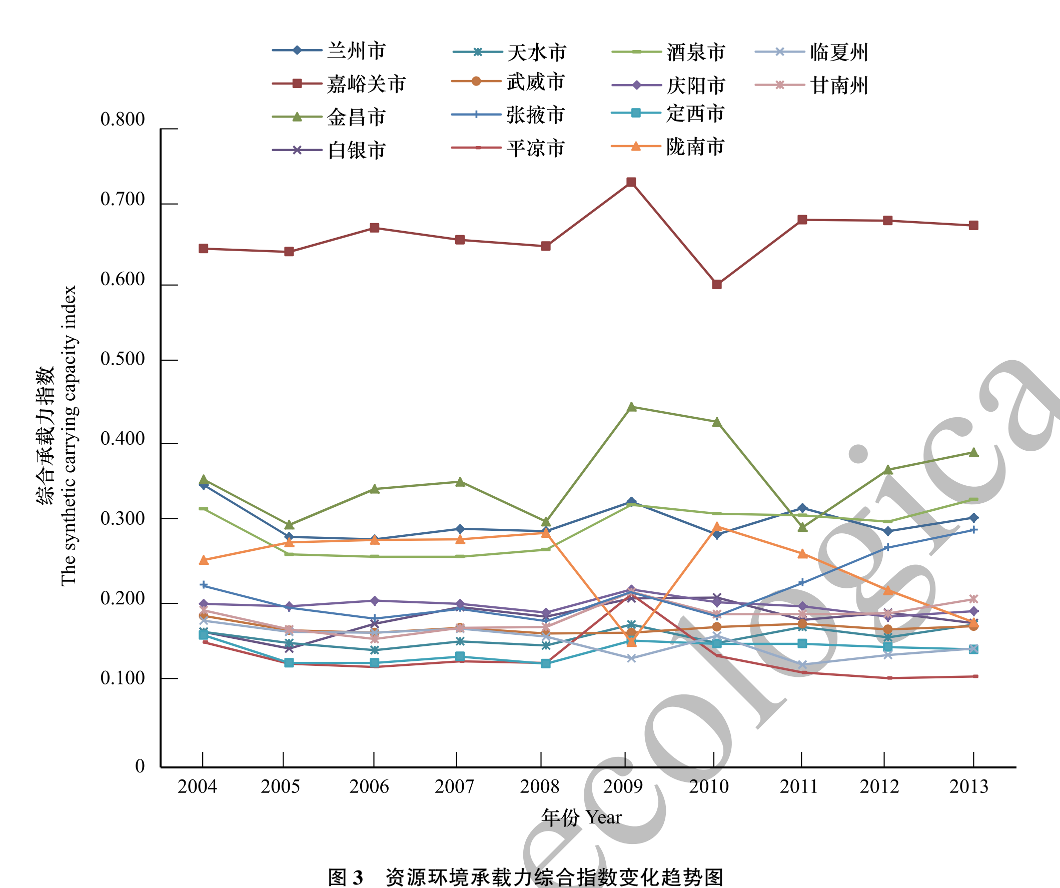


图 3　资源环境承载力综合指数变化趋势图

Fig.3　The change trend of the synthetic carrying capacities

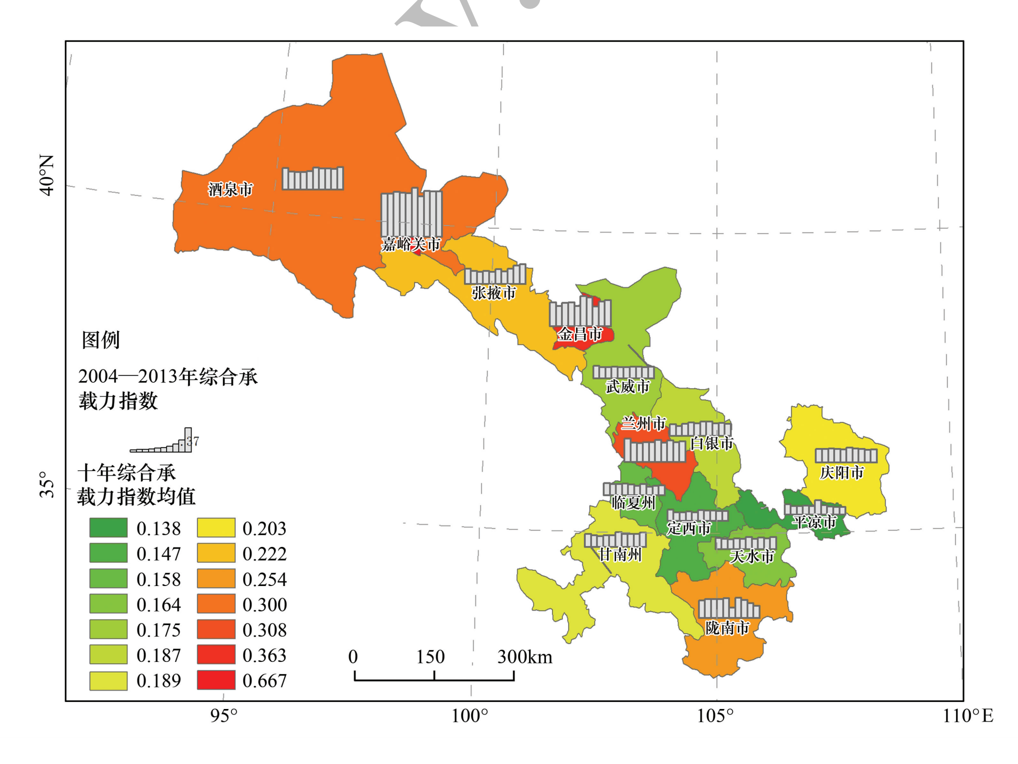


图 4　承载力综合指数时空格局图

Fig.4　The space-time pattern of the carrying capacities

(2)各子系统对资源环境承载力的影响差异较大。

表 5 和图 5 展示出资源环境承载力综合指数偏低(0.25 左右)且变化不大;各子系统中生态环境子系统的承载力对资源环境综合承载力贡献最大,明显高于其他 3 系统,经济系统贡献最小。说明全省经济发展较低,资源供给相对较低,废物产生量相对较少。资源供给支持力指数相对变化比较大,在 2009 年出现突变,最大值接近 0.25。

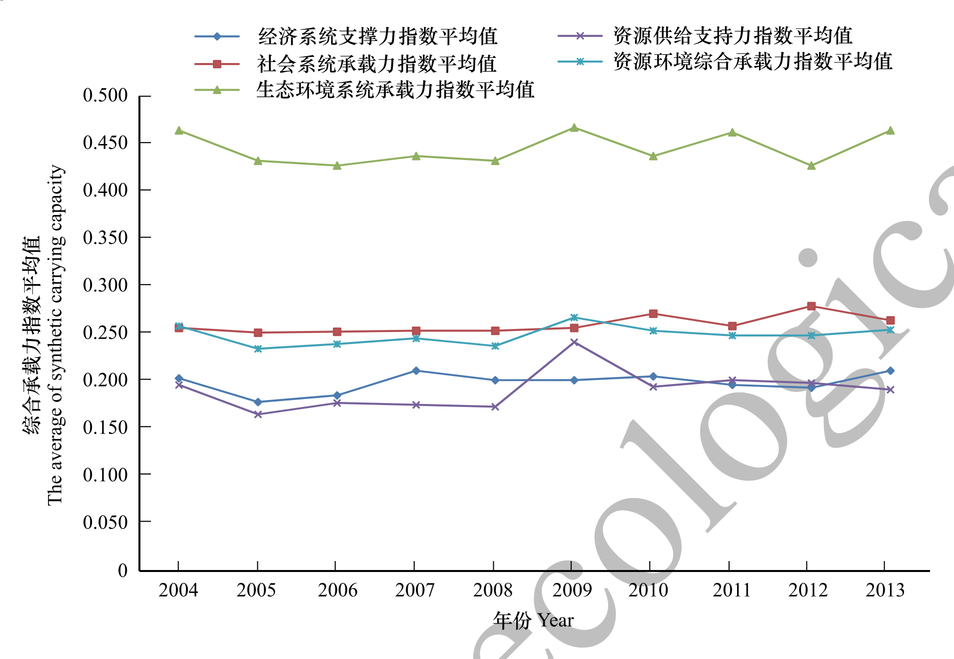


图 5 2004—2013 年甘肃省资源环境承载力指数平均值动态图

Fig.5 The average resource environmental carrying capacity index of Gansu Province in 2004—2013

4.2.2 各子系统承载力分析

分析各子系统承载力评价结果表(表 4)以及变化趋势图和 ArcGIS 空间分析结果图(图 6—图 13),得出如下结论:

(1)各市州经济系统支撑力指数呈现金字塔形的层次结构,空间格局呈河西(除武威外)和兰州高,东南和南部低的空间格局。

由表 4、图 6 和图 7 可知,近 10 年来全省经济承载力指数除嘉峪关外整体偏低,呈低水平上的平稳状态,经济承载力指数明显成金字塔型,嘉峪关市居最高层(0.832),金昌市、兰州市、酒泉市居中间,其余 10 个市州居底层。经济系统承载力趋势和位次结构与各地的经济发展水平一致,总体上经济支持能力较低。

空间上呈河西(除武威外)和兰州高,东南和南部低的空间格局。平凉市、定西市属自然资源比较贫瘠且生态系统比较脆弱的地区,经济发展迟缓,承载力指数最低。河西地区资源丰富,土地利用率高,经济承载力指数相对较高(除武威市外)。古浪县和民勤县靠近沙漠边缘,生态环境脆弱,经济发展缓慢,导致武威市经济承载力指数明显低于河西其他地区。定西市、平凉市、陇南地区大都为生态功能区,生态系统复杂,发展受阻,经济系统承载力低。

(2)各市州社会系统承载力指数除金昌市有较大的突变外各市区都比较平稳。空间上呈河西(除武威外)和兰州高,东南和南部低的空间格局;层次呈嘉峪关市、兰州较高,其余各地都较低的结构。

图 8 和图 9 直观显示,社会系统承载力指数变化除金昌市有较大的突变外各市区都比较平稳。2010 年以前各市州社会系统承载力指数呈缓慢上升趋势,2010 年以后,各市州社会系统承载力平稳中略有降低。而金昌市在 2011 年以后城乡一体化建设等项目的实施使非农人口数飞速上升,导致了社会系统承载力指数明显增长。嘉峪关(0.743)、兰州(0.458)、酒泉(0.469)三市社会系统承载力评价指数值较大,甘肃南部地区社会系统承载力评价指数值偏低。嘉峪关、兰州、酒泉相对城市化水平较高,非农人口比重高,社会承载力相对较

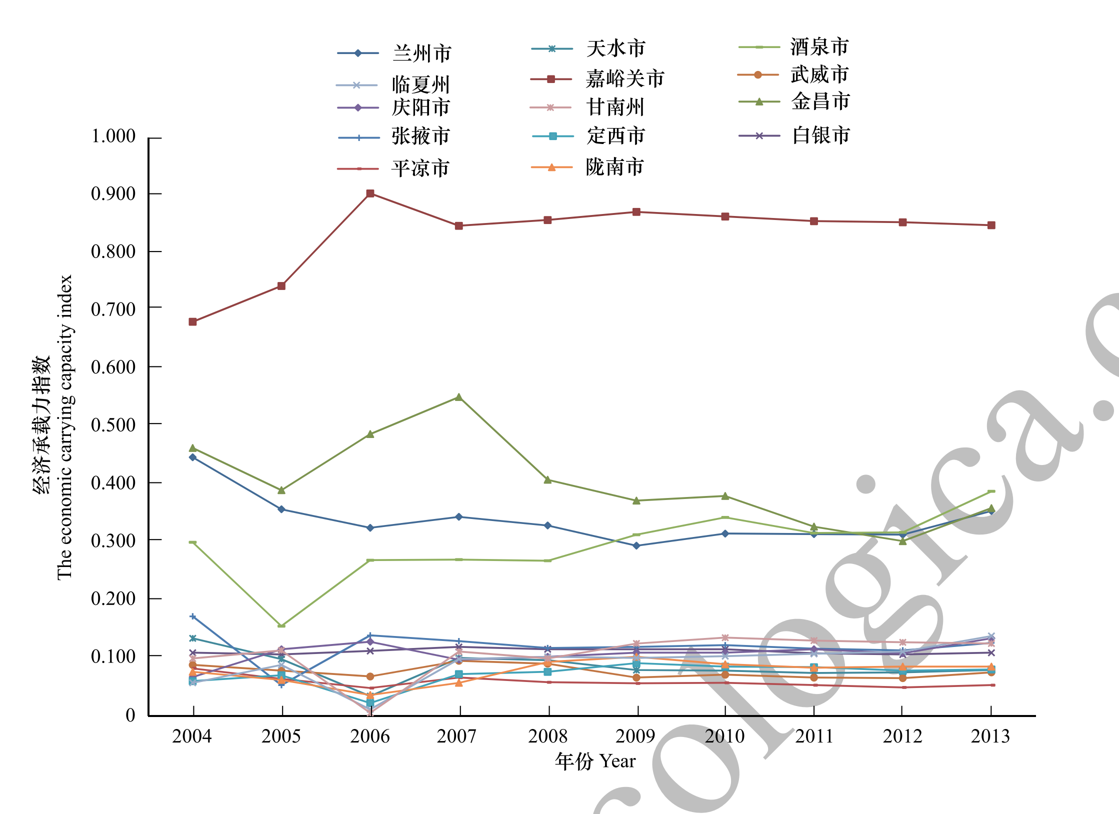


图 6　经济系统承载力指数变化趋势图

Fig.6　The change trend of the economic carrying capacities

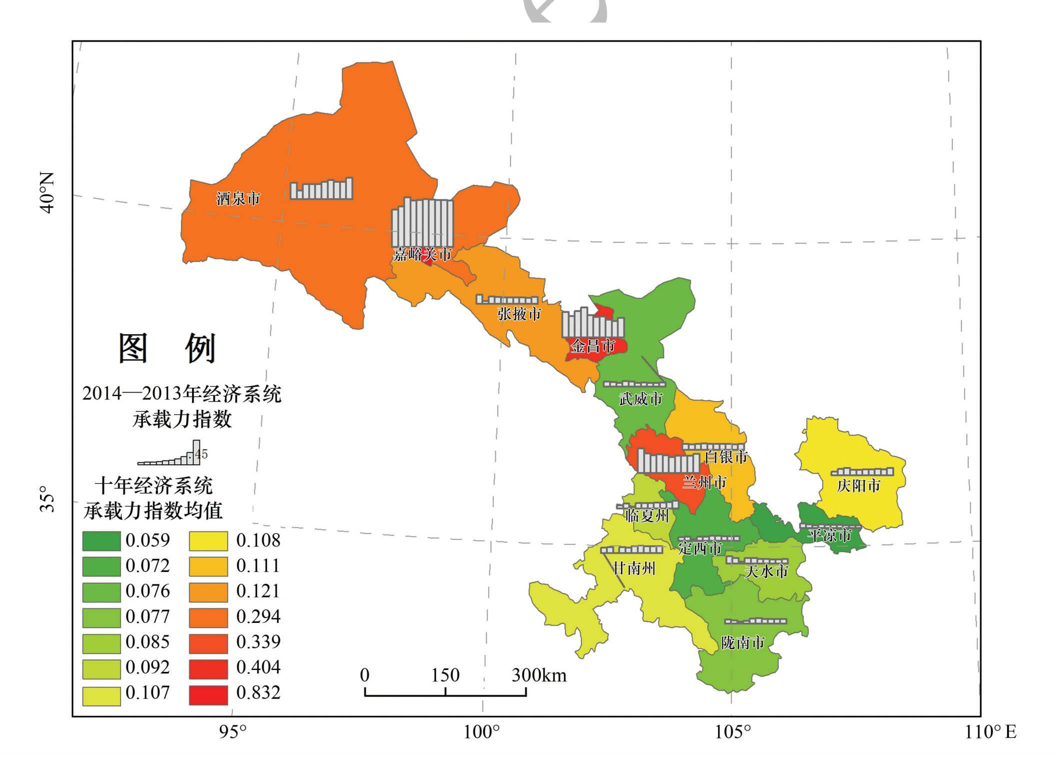


图 7　经济承载力指数时空格局图

Fig.7　The space-time pattern of the economic carrying capacities

高。其余地区城市化率低,非农人口比重低,人口自然增长率偏高、人口密度偏大,社会系统承载力指数最低。

(3)甘肃省各市州环境系统承载力指数相差较小,变动较频繁,波动幅度不大,环境承载力指数相对较

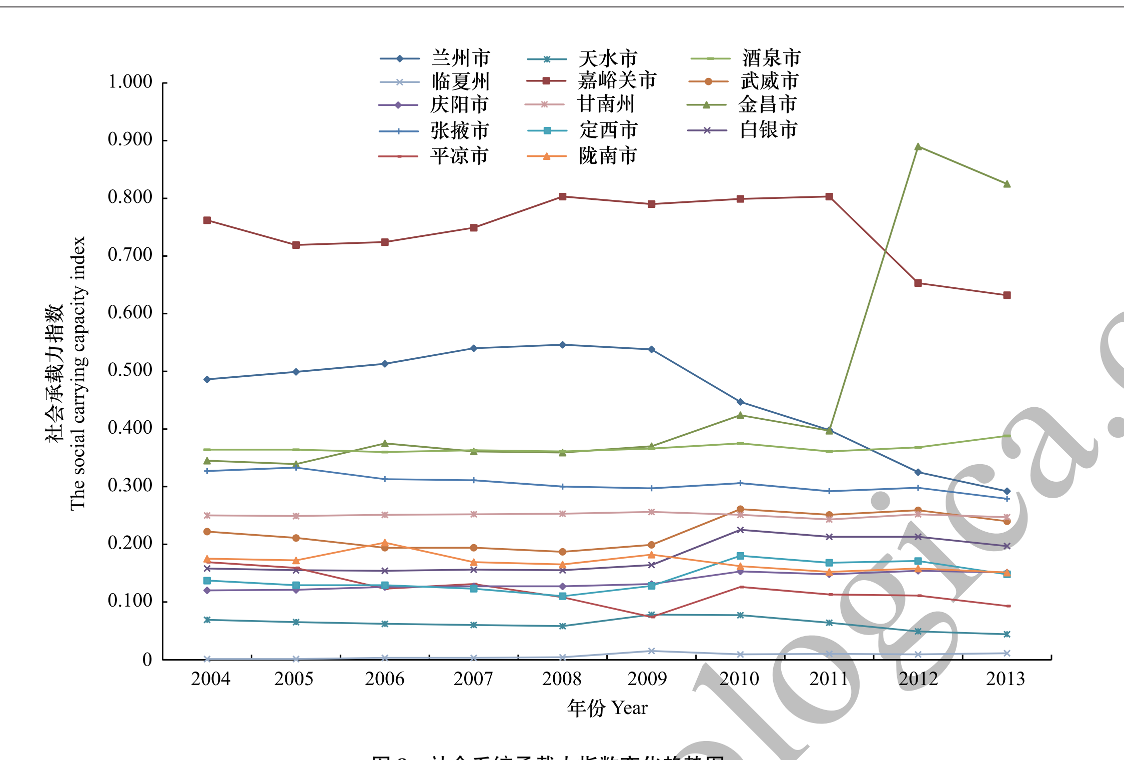




图 8 社会系统承载力指数变化趋势图

Fig.8 The change trend of the social carrying capacities

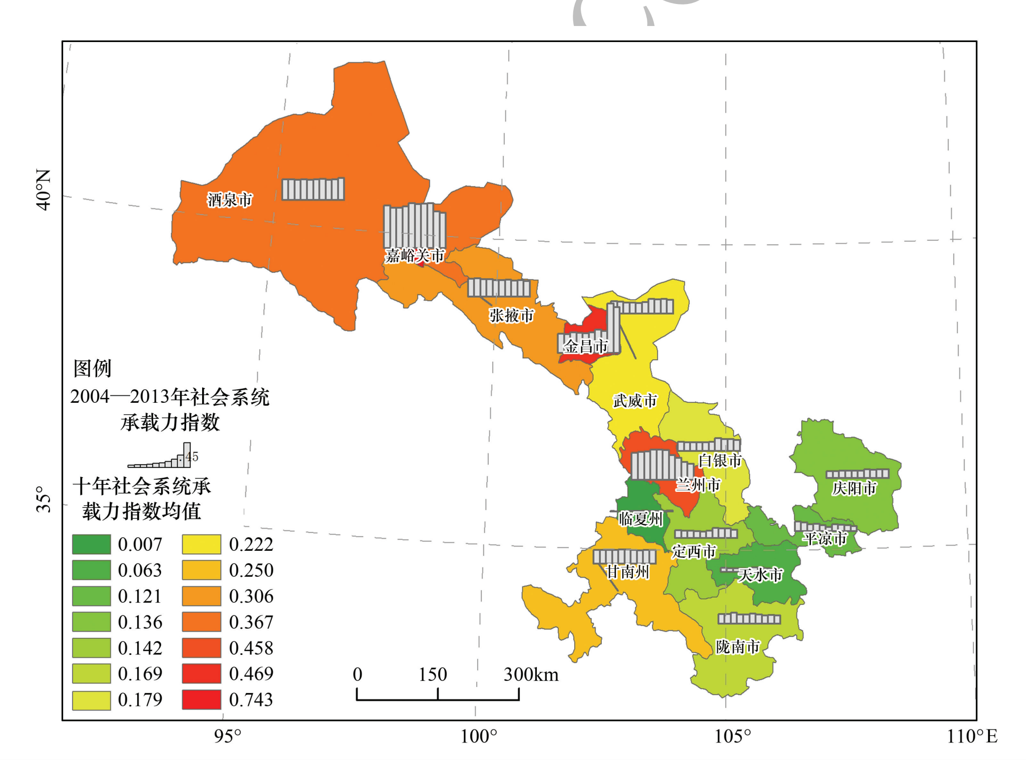


图 9 社会承载力指数时空格局图

Fig.9 The space-time pattern of the social carrying capacities

高;空间上基本呈两头高中间低的哑铃状空间格局。

图 10 和图 11 清晰展示了甘肃省各市州环境系统承载力指数变化的趋势和空间格局。总体上各市州承载力指数变动较频繁,但波动幅度较小(除嘉峪关市和金昌市外);酒泉市、庆阳市、天水市、定西市、临夏州和甘南州的承载力指数较高,形成空间上的哑铃状格局。嘉峪关市第二产业的快速发展,使环境系统遭到了较

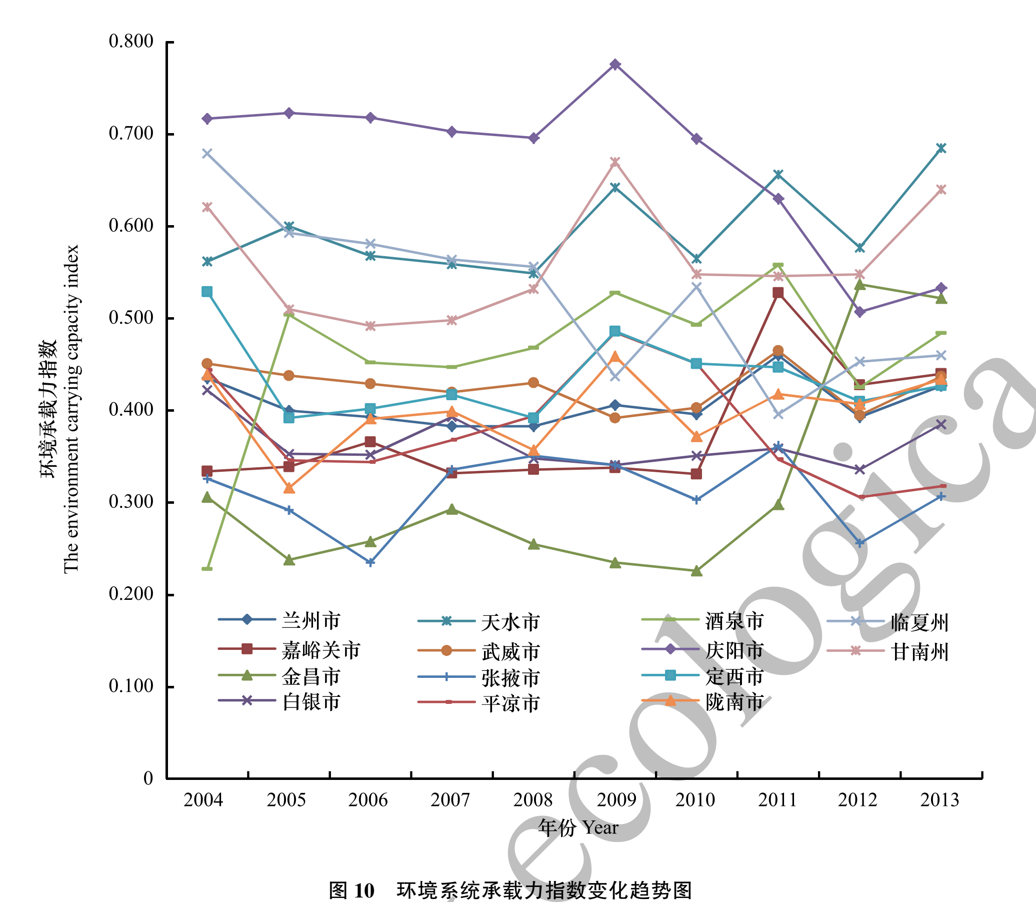


图 10　环境系统承载力指数变化趋势图

Fig.10　The trend of the environment carrying capacities

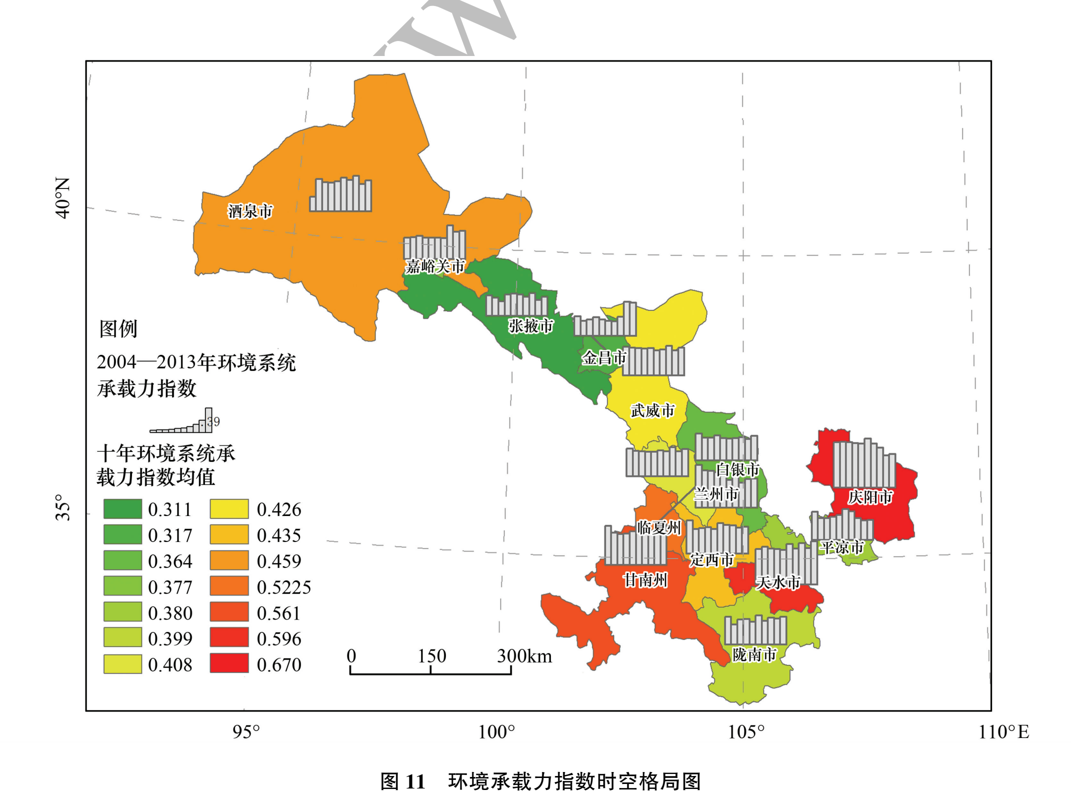


图 11　环境承载力指数时空格局图

Fig.11　The space-time pattern of the environment carrying capacities

为严重的破坏。从2009年数据分析来看,嘉峪关万元工业增加值工业固体废物总量、元工业增加值工业废水排放量、万元工业增加值工业废气排放量相对较高,承载力指数较低。庆阳市的甘南主要为畜牧业等相关产业,天水市、庆阳的主要发展经济作物与经济作物的深加工等相关产业,环境系统承载力指数较高。

(4)资源承载力指数整体偏低,武威、庆阳、定西、甘南、临夏和天水6市州资源承载力指数平稳,其余8市州则波动频繁,且波动幅度大。空间格局上呈现河西地区(除武威外)和陇南市高,其余各州市低的集中分布格局。

由表4、图12和图13可知,嘉峪关市、金昌市、陇南市资源系统承载力指数浮动相当大;张掖市、酒泉市、白银市浮动较小;定西市、甘南藏族自治州资源系统承载力指数基本无变化。资源系统承载力呈西北高东南低的空间分布格局。全省水资源短缺,降水量少,且不稳定,致使承载力指数波动加大。

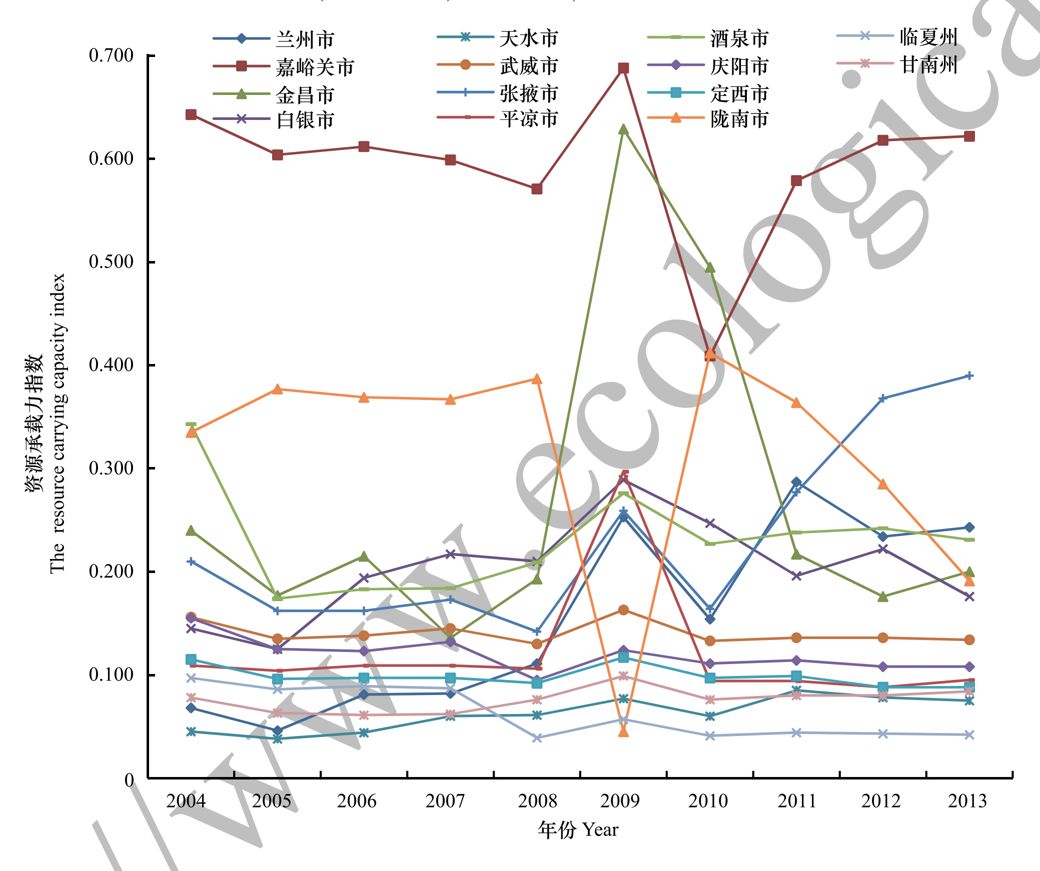


图12 资源系统承载力指数变化趋势图

Fig.12 The change trend of the resource carrying capacities

5 结论与建议

5.1 结论

本文从经济、社会、环境和资源4个方面选取24个相关性高的指标构建甘肃省资源环境承载力评价指标体系,采用加权TOPSIS模型方法,应用数理统计方法和GIS空间分析功能从时间和空间维度详细考察了甘肃省资源环境综合承载力和子系统承载力的时空动态特征,得出以下结论:

(1)甘肃省各市州资源环境综合承载力指数整体上呈低水平上的平稳态势,与经济发展水平一致;呈西北高东南低的空间格局;等级位序呈金字塔形,分3层,第一二层之间存在明显差距,第二三层资源环境综合承载力指数差距较小。

(2)各子系统对资源环境承载力的影响存在差异。各子系统中生态环境子系统的承载力对资源环境综合承载力贡献最大,明显高于其他3个系统,相对的经济系统贡献更小,资源环境承载力综合指数偏低且变化

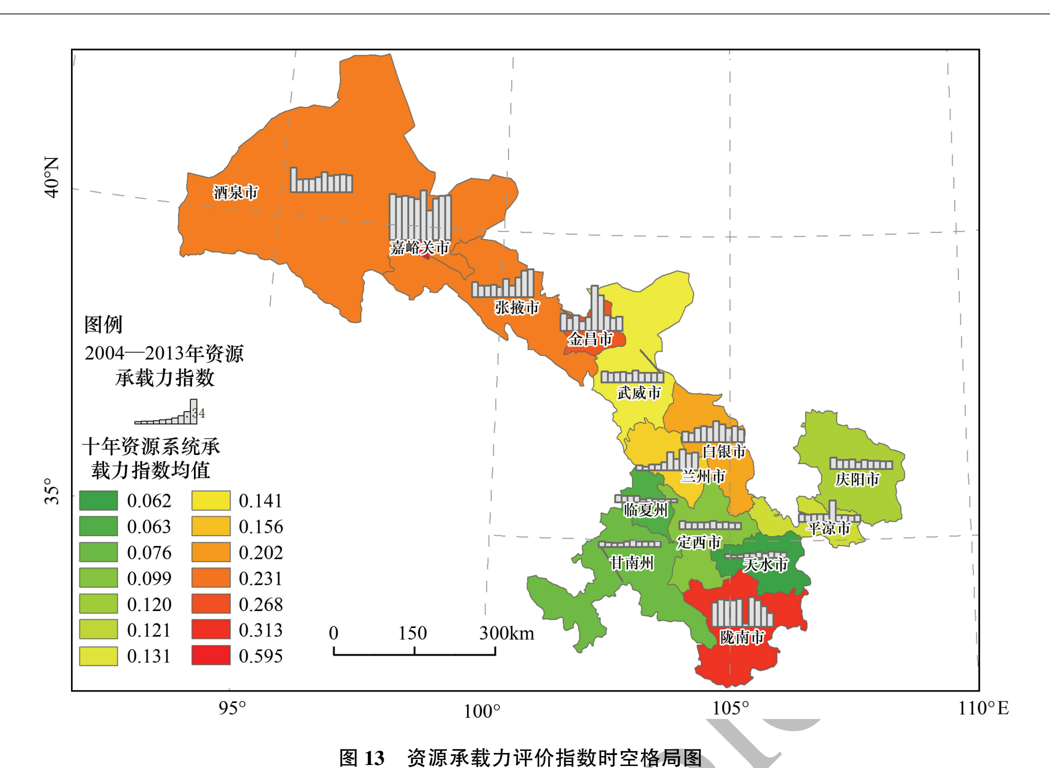


图 13　资源承载力评价指数时空格局图

Fig.13　The space-time pattern of the resource carrying capacities

不大。

(3)各市州经济系统支撑力指数呈现金字塔形的层次结构以及河西(除武威外)和兰州高,东南和南部低的空间格局,整体偏低变化较小。

(4)各市州社会系统承载力指数除金昌市有较大的突变外各市区都比较平稳。空间上呈河西(除武威外)和兰州高,东南和南部低的空间格局;层次结构上嘉峪关市、兰州、酒泉较高,其余各地都较低。

(5)各市州环境系统承载力指数变动较频繁,波动幅度不大,相对其他 3 个系统环境承载力指数相对较高;各市州环境承载力指数相差不大;空间上基本呈两头高中间低的哑铃状空间格局。

(6)资源系统承载力指数,武威、庆阳、定西、甘南、临夏和天水 6 市州平稳,其余 8 市州则波动频繁,且波动幅度大;空间格局上呈现河西地区(除武威外)和陇南市高,其余各州市低的集中分布格局。

5.2　政策建议

综上,甘肃省的资源环境综合承载力较低,经济子系统的支撑力尤为低,经济发展落后。资源供给量少,生态环境脆弱,约束性较大。因此,要提高甘肃省资源环境承载力,首先,应加快经济发展,提高资源的供给能力,减少对资源环境的破坏,提高经济支撑力和资源环境的承载能力。大力引进先进技术,调整产业结构,减少矿产资源开发,减少重污染的企业,发展特色产业(特色农业),以敦煌,麦积山和崆峒山为依托,发展文化旅游,以丹霞地貌、甘南草原和特色农业(如药材)等为依托发展自然景观旅游和生态旅游;推进企业节能减排,发展循环经济,提高废物利用率;其次,推进甘肃新型城镇化进程,提高土地利用效率,加强生态移民,实现资源集约利用,建立合理的生态补偿机制;再次,继续推行退耕还林还草战略,提高区域植被覆盖率,尤其是沙漠边缘的河西地区,要建立好生态屏障;最后,借鉴发达地区的环境治理经验,进行环境保护和治理,学习借鉴长沙县的发展经验,实现工、农业固体废物无害化、减量化和资源化。最终实现社会-经济-资源-环境的协调发展。

参考文献(References):

[1]　刘晓丽, 方创琳. 城市群资源环境承载力研究进展及展望. 地理科学进展, 2008, 27(5): 35-42.
[2]　姜秋香, 付强, 王子龙. 三江平原水资源承载力评价及区域差异. 农业工程学报, 2011, 27(9): 184-190.

[3] 姜秋香，付强，王子龙. 基于粒子群优化投影寻踪模型的区域土地资源承载力综合评价. 农业工程学报，2011，27(11)：319-324.

[4] 任守德，付强，王凯. 基于宏微观尺度的三江平原区域农业水土资源承载力. 农业工程学报，2011，27(2)：8-14.

[5] 刘惠敏. 长江三角洲城市群综合承载力的时空分异研究. 中国软科学，2011，(10)：114-122.

[6] 马琼，苏美玲. 基于生态足迹的塔里木盆地人口与水土资源协调发展研究. 干旱区资源与环境，2014，28(3)：31-36.

[7] 梅多斯. 增长的极限. 于树生，译. 北京：商务印书馆，1984：15-268.

[8] Sleeser M. Enhancement of Carrying Capacity Options ECCO. London：The Resource Use Institute，1990.

[9] Daily G C，Ehrlich P R. Population，sustainability，and earth's carrying capacity. BioScience，1992，42(10)：761-771.

[10] Saveriades A. Establishing the social tourism carrying capacity for the tourist resorts of the east coast of the Republic of Cyprus. Tourism Management，2000，21(2)：147-156.

[11] Environmental Protection Agency. Four township environmental carrying capacity study. 2002. [2016-07-06]. http://www.ftwrc.org/publications/Envcapacity.pdf.

[12] 黎明，李百战. 重庆市都市圈水资源承载力分析与预测. 生态学报，2009，29(12)：6499-6505.

[13] 宋艳春，余敦. 鄱阳湖生态经济区资源环境综合承载力评价. 应用生态学报，2014，25(10)：2975-2984.

[14] 郭轲，王立群. 京津冀地区资源环境承载力动态变化及其驱动因子. 应用生态学报，2015，26(12)：3818-3826.

[15] 董文，张新，池天河. 我国省级主体功能区划的资源环境承载力指标体系与评价方法. 地球信息科学学报，2011，13(2)：177-183.

[16] 安翠娟，侯华丽，周璞，刘天科. 生态文明视角下资源环境承载力评价研究——以广西北部湾经济区为例. 生态经济，2015，31(11)：144-148，179-179.

[17] 周侃，樊杰. 中国欠发达地区资源环境承载力特征与影响因素——以宁夏西海固地区和云南怒江州为例. 地理研究，2015，34(1)：39-52.

[18] 陈海波，刘旸旸. 江苏省城市资源环境承载力的空间差异. 城市问题，2013，(3)：33-37.

[19] 祝秀芝，李宪文，贾克敬，祁帆. 上海市土地综合承载力的系统动力学研究. 中国土地科学，2014，28(2)：90-96.

[20] 杨屹，加涛. 21世纪以来陕西生态足迹和承载力变化. 生态学报，2015，35(24)：7987-7997.

[21] 李红丽，智颖飙，张荷亮，陶文辉，王再岚，Komada E，杜永春，白志刚，刘秀珍. 新疆生态足迹与环境压力的时空分异. 生态学报，2010，30(17)：4676-4684.

[22] 孙钰，李新刚. 基于空间回归分析的城市土地综合承载力研究——以环渤海地区城市群为例. 地域研究与开发，2013，32(5)：128-132，137-137.

[23] 许联芳，谭勇. 长株潭城市群"两型社会"试验区土地承载力评价. 经济地理，2009，29(1)：69-73.

[24] 王晓鹏，丁生喜. 三江源地区人口资源环境承载力动态评价研究——以青海省果洛州为例. 生态经济，2015，31(11)：149-152.

[25] 雷勋平，Qiu R，刘勇. 基于熵权TOPSIS模型的区域土地利用绩效评价及障碍因子诊断. 农业工程学报，2016，32(13)：243-253.

[26] 胡永宏. 对TOPSIS法用于综合评价的改进. 数学的实践与认识，2002，32(4)：572-575.

[27] 雷勋平，邱广华. 基于熵权TOPSIS模型的区域资源环境承载力评价实证研究. 环境科学学报，2016，36(1)：314-323.

[28] 朱珠，张琳，叶晓雯，张燕. 基于TOPSIS方法的土地利用综合效益评价. 经济地理，2012，32(10)：139-144.

[29] 吴一凡，雷国平，路昌，周浩，关勇欣. 基于改进TOPSIS模型的大庆市城市土地利用绩效评价及障碍度诊断. 水土保持研究，2015，22(4)：85-90.

[30] 赵宏波，马延吉. 东北粮食主产区耕地生态安全的时空格局及障碍因子——以吉林省为例. 应用生态学报，2014，25(2)：515-524.

[31] 徐晗. 改进的TOPSIS模型在陕西省农业干旱脆弱性区划中的应用. 干旱地区农业研究，2016，34(4)：251-258.

[32] 周彬，赵宽，钟林生，陈田，虞虎. 舟山群岛生态系统健康与旅游经济协调发展评价. 生态学报，2015，35(10)：3437-3446.

[33] 洪惠坤，廖和平，魏朝富，李涛，谢德体. 基于改进TOPSIS方法的三峡库区生态敏感区土地利用系统健康评价. 生态学报，2015，35(24)：8016-8027.

[34] 胡林林，贾俊松，毛端谦，刘春燕. 基于FAHP-TOPSIS法的我国省域低碳发展水平评价. 生态学报，2013，33(20)：6652-6661.

[35] 韩瑞玲，佟连军，宋亚楠. 基于生态效率的辽宁省循环经济分析. 生态学报，2011，31(16)：4732-4740.

[36] 郭永杰，米文宝，赵莹. 宁夏县域绿色发展水平空间分异及影响因素. 经济地理，2015，35(3)：45-51，8-8.

[37] 赵宏波，郑辉，苗长虹，邵田田，冯渊博. 东北粮食主产区农业生态系统健康格局与因子诊断——以吉林省为例. 应用生态学报，2016，27(10)：3290-3298.

[38] 李灿，张凤荣，朱泰峰，奉婷，安萍莉. 基于熵权TOPSIS模型的土地利用绩效评价及关联分析. 农业工程学报，2013，29(5)：217-227.

[39] 樊杰，周成虎，顾行发，邓伟，张兵. 国家汶川地震灾后重建规划：资源环境承载能力评价. 北京：科学出版社，2009：20-52.

[40] 彭立，刘邵权，刘淑珍，苏春江. 汶川地震重灾区10县资源环境承载力研究. 四川大学学报：工程科学版，2009，41(3)：294-300.

[41] 田宏岭，乔建平，朱波，宋孟强. 基于GIS技术的成都市灾区资源环境承载力快速评价. 四川大学学报：工程科学版，2009，41(S)：45-48，52-52.

[42] 樊杰. 国家玉树地震灾后重建规划: 资源环境承载能力评价. 北京: 科学出版社, 2010: 23-48.

[43] 李旭东. 贵州乌蒙山区资源相对承载力的时空动态变化. 地理研究, 2013, 32(2): 233-244.

[44] 刘斌涛, 陶和平, 刘邵权, 孔博. 基于 GIS 的山区人口压力测算模型——以四川省凉山州为例. 地理科学进展, 2012, 31(4): 476-483.

[45] 王红旗, 田雅楠, 孙静雯, 张亚夫. 基于集对分析的内蒙古自治区资源环境承载力评价研究. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2013, 49(2/3): 292-296.

[46] 袁伟, 郭宗楼, 吴军林, 楼章华. 黑河流域水资源承载能力分析. 生态学报, 2006, 26(7): 2108-2114.

[47] 王书华, 毛汉英, 赵明华. 略论土地综合承载力评价指标体系的设计思路——我国沿海地区案例分析. 人文地理, 2011, 16(4): 57-61.

[48] 邱鹏. 西部地区资源环境承载力评价研究. 软科学, 2009, 23(6): 66-69.

[49] 秦成, 王红旗, 田雅楠, 姚治华. 资源环境承载力评价指标研究. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(12): 335-338.

[50] 邓伟. 山区资源环境承载力研究现状与关键问题. 地理研究, 2012, 29(6): 959-969.

[51] 王振波, 张蔷, 张晓瑞, 关兴良. 基于资源环境承载力的合肥市增长边界划定. 地理研究, 2013, 32(12): 2302-2311.